



## Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: [www.riit.com.mx](http://www.riit.com.mx)

### Evaluación de las propiedades físicas, químicas, sensoriales y de inocuidad microbiológica de embutidos elaborados a base de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*)

### Evaluation of the physical, chemical, sensory, and microbiological safety properties of sausages made from black tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Márquez-Rangel, M.I.<sup>1</sup>, Corfield, R.<sup>2</sup>, Zacarías-González, M.G.<sup>1</sup>, Martínez-Ávila, G.C.G.<sup>3</sup>, Michel, M.R.<sup>1</sup>, Reyes-Luna, C.<sup>1</sup>, Rojas, R.<sup>3\*</sup>, Aguilar-Zárate, P.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio Nacional CONAHCYT de Apoyo a la Evaluación de Productos Bióticos (LaNAEPBi), Unidad de Servicio Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. Carretera al Ingenio Plan de Ayala, Km. 2, Col. Vista Hermosa, Ciudad Valles, San Luis Potosí, México. C.P. 79010.

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigación Científica y Técnicas de la República Argentina, ITAPROQ-CONICET. Universidad de Buenos Aires. Departamento de Industrias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Intendente Güiraldes, s/n, Ciudad Universitaria. Buenos Aires Argentina. C.P. 1428.

<sup>3</sup> Laboratorio de Química y Bioquímica, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Francisco Villa S/N, Colonia Ex Hacienda El Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050.  
[isabel\\_marquez@uadec.edu.mx](mailto:isabel_marquez@uadec.edu.mx); [rocio.corfield@gmail.com](mailto:rocio.corfield@gmail.com); [14690144@tecvalles.mx](mailto:14690144@tecvalles.mx);  
[guillermo.martinezavl@uanl.edu.mx](mailto:guillermo.martinezavl@uanl.edu.mx); [mariela.michel@tecvalles.mx](mailto:mariela.michel@tecvalles.mx); [carlos.reyes@tecvalles.mx](mailto:carlos.reyes@tecvalles.mx);  
[romeo.rojasmln@uanl.edu.mx](mailto:romeo.rojasmln@uanl.edu.mx)\*; [pedro.aguilar@tecvalles.mx](mailto:pedro.aguilar@tecvalles.mx)\*

**Innovación tecnológica:** Aprovechamiento de especies acuícolas.

**Área de aplicación industrial:** Alimentos.

Recibido: 02 marzo 2024

Aceptado: 25 noviembre 2024

#### Abstract

Black tilapia (*Oreochromis niloticus*) is an important fish in the Huasteca Potosina region, located in northeastern Mexico; however, its utilization is limited. The objective of this study was to determine the physical, chemical, sensory, and microbiological safety characteristics of ham and sausage products made from black tilapia. To prepare the sausages, the tilapia was ground in a frozen state and mixed with various additives in a 90:10 ratio for ham and 80:20 for sausage (meat:additives). The mixture was then shaped and cooked. The sausages showed high protein content: 21.4% for ham and 19.1% for sausage. The pH values were 6.84 for ham and 7.08 for sausage, due to the natural characteristics of tilapia. Water-holding capacity reached 77.20% in the ham and 63.75% in the sausage, surpassing that of some cases commercial products. In terms of texture, the tilapia ham had a firmness of 38.49 N, compared to 28.50 N for commercial ham; while

the tilapia sausage registered 46.99 N compared to 30.90 N for commercial ham. Microbiological analysis confirmed that the sausages comply with Mexican regulatory standards. In the sensory analysis, the products score over 3.48 out of 5 points in attributes such as texture, odor, and flavor, with the exception of the color of the ham, which scored 3.16 points. These results indicate that black tilapia-based sausages are a healthy and innovative option with significant potential for market acceptance, emphasizing their added value in the diversifying of food products.

**Key words:** Black tilapia, Ham, Sausage, Texture profile, Sensory evaluation.

## Resumen

La tilapia negra (*Oreochromis niloticus*) es un pez relevante en la región de la Huasteca Potosina ubicada en el noreste de México, sin embargo, presenta un aprovechamiento limitado. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las características físicas, químicas, sensoriales y de inocuidad microbiológica de embutidos de jamón y salchicha elaborados a partir de tilapia negra. Para la elaboración de los embutidos, la tilapia se molió en estado congelado y se mezcló con diversos aditivos en una proporción 90:10 para jamón y 80:20 para salchicha (carne:aditivos). Posteriormente se moldeó y se llevó a cocimiento. Los embutidos mostraron alto contenido proteico: 21.4% en el jamón y 19.1% en la salchicha. El pH fue de 6.84 y 7.08, respectivamente, debido a las características de la tilapia. La capacidad de retención de agua alcanzó 77.20% en el jamón y 63.75% en la salchicha, superando en algunos casos a productos comerciales. En cuanto a textura, el jamón de tilapia presentó firmeza de 38.49 N, comparado con 28.50 N del jamón comercial; mientras que la salchicha de tilapia registró 46.99 N frente a 30.90 N de la comercial. Los análisis microbiológicos confirmaron que los embutidos cumplen con las normas mexicanas. En el análisis sensorial, obtuvieron una aceptación superior a 3.48 puntos de 5 en atributos como textura, olor y sabor, con excepción del color del jamón, que obtuvo 3.16 puntos. Estos resultados indican que los embutidos de tilapia negra son una opción saludable e innovadora con alto potencial de aceptación en el mercado, destacando su valor agregado en la diversificación de productos alimenticios.

**Palabras clave:** Tilapia negra, Jamón, Salchicha, Perfil de textura, Evaluación sensorial.

## INTRODUCCIÓN

La tilapia negra (*Oreochromis niloticus*) se destaca por ser uno de los productos acuícolas de mayor importancia, siendo la tercera especie de pez más cultivada a nivel mundial [1]. En México, es la quinta especie más producida con una producción promedio de 108,123 toneladas en los últimos cinco años. Mientras que, el estado de San Luis Potosí, la tilapia ocupa el primer lugar entre las especies

acuícolas cultivadas, representando el 76.63% de la producción total de acuicultura en el estado [2].

La carne de tilapia es reconocida nutricionalmente por su alto aporte de proteínas de alta calidad, ya que contiene todos los aminoácidos esenciales, además, es fuente de ácidos grasos poliinsaturados n-3, el ácido eicosapentaenoico, el ácido docosaheptaenoico, vitaminas A, C, D, E, K,

B6, B12, yodo, selenio, calcio, fósforo, magnesio, sodio y hierro necesarios para la dieta humana [3], [4], [5], por lo que su consumo puede ayudar a reducir las deficiencias de micronutrientes y macronutrientes. Además, debido a su contenido de ácidos grasos poliinsaturados su incorporación a la dieta humana podría representar beneficios en la reducción de enfermedades cardiovasculares y promoción de la salud cerebral y ocular [3].

Sin embargo, debido a su alto contenido de agua, pH neutro y tejidos conectivos débiles, la tilapia es propensa al deterioro durante el almacenamiento. Por ello, las investigaciones actuales se han centrado en desarrollar productos procesados que aumenten su vida útil y diversifiquen los productos de valor agregado a partir de la tilapia [6], [7]. El uso de la carne de tilapia como materia prima de bajo costo permite que su procesamiento en productos cárnicos no solo extienda su vida de anaquel, sino que también incremente su valor económico, convirtiéndose en una oportunidad para mejorar la economía del sector acuícola con productos de alto valor nutricional [3].

Una alternativa con potencial de consumo son los embutidos de pescado, impulsados por las actuales tendencias de los consumidores hacia productos de rápida preparación, más nutritivos, seguros y económicos [8]. Sin embargo, el desarrollo de nuevos productos debe alcanzar altos estándares en calidad, aceptación y satisfacción del consumidor. Los productos cárnicos, como el jamón y la salchicha, han mostrado un crecimiento en el mercado debido a su textura, sabor, precios accesibles y diversos beneficios durante su procesamiento, conservación y comercialización [9]. En México el volumen de producción anual en 2023 fue de 579,889 toneladas para las salchichas y 448,397 toneladas para jamón [10]. Esto ha despertado un interés en su estudio al utilizar la tilapia

como materia prima para el desarrollo de este tipo de embutidos.

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar las propiedades físicas, químicas y sensoriales de embutidos elaborados utilizando filetes de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*). Se evaluó la composición proximal, pH, color y perfil de textura de los productos terminados. Además, se realizó evaluación sensorial y análisis microbiológico para conocer grado de aceptación e inocuidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

Los filetes se obtuvieron del mercado acuícola local de la Huasteca Potosina en Ciudad Valles, San Luis Potosí, México en estado de congelación a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . De igual manera, las especias en polvo, harina de trigo, azúcar refinada y sal común se obtuvieron a granel en el mercado local. Por otro lado, los aditivos como sal de cura, polifosfatos y glutamato monosódico fueron suministrados por la empresa Budenheim México S.A. de C.V. Los saborizantes fueron proporcionados por PIASA by Nova Taste, mientras que el colorante rojo cochinilla fue adquirido por Laboratorios Castells S.A. de C.V. Todas las materias primas se transportaron al laboratorio en su empaque original, mientras que el pescado en hieleras para mantener la cadena de frío.

### Elaboración de jamón y salchicha de tilapia

Para la elaboración de los embutidos se usaron 4 kg de filete de tilapia retirando el exceso de hielo y manteniendo el estado de congelación, se molieron con ayuda de una trituradora de carnes con placas de 6 mm (Torrey, Modelo M-12-FS, México) para obtener una pasta a la cual se le agregaron todos los aditivos, entre los cuales destacan sales, glutamato monosódico, azúcar,

saborizantes, colorante vegetal, harina de trigo y diversas especias para la salchicha. Las cantidades de los aditivos se utilizaron de acuerdo con lo dispuesto por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-158-SCFI-2003) y Normas Mexicanas (NMX-F-065-1984) para la elaboración de jamón y salchicha, respectivamente [11], [12]. Todos estos ingredientes se mezclaron en una proporción 90% de carne y 10% de aditivos para el jamón y 80% carne y 20% aditivos para la salchicha

(Tabla 1), debido a que las formulaciones para salchicha requieren mayor cantidad de ingredientes. La pasta obtenida se depositó en moldes de acero inoxidable para forjar el jamón (28x14.5x13 cm), mientras que el embutido de salchichas se realizó con ayuda de una embutidora (Torrey, Modelo ET-25, México) utilizando tripas sintéticas con calibre 28 mm (Tripa de colágeno 28 mm, Salvigar, México).

**Tabla 1.** Contenido porcentual de los ingredientes utilizados para la elaboración de jamón y salchicha de tilapia.

Jamón de tilapia		Salchicha de tilapia	
Ingredientes	(%)	Ingredientes	(%)
Carne de tilapia	90.66	Carne de tilapia	80.00
Polifosfatos	0.36	Polifosfatos	0.33
Sales	1.54	Sales	1.24
Saborizantes	0.36	Saborizantes	0.87
Ligador	5.44	Ligador	4.36
Glutamato monosódico	0.18	Glutamato monosódico	0.04
Azúcar	1.36	Especias	0.80
Colorante	0.10	Colorante	0.07
		Hielo frappé	12.29

La cocción se realizó con agua potable en un rango de temperaturas entre 80 a 85 °C durante 40 min/kg del peso de la mezcla para el jamón. Para la cocción de salchicha la temperatura del agua fue de 80 a 85 °C hasta alcanzar 65 a 68 °C en el centro de la pieza medido con un termómetro de vástago para facilitar la toma de temperatura. Al término de la cocción se bajó la temperatura de las piezas mediante un choque térmico con agua a 4 °C y hielo para disminuir la carga microbiana. Posteriormente se empacaron al vacío y se almacenaron en refrigeración a 4 °C.

### Análisis químico proximal

Para la determinación químico proximal se emplearon los métodos oficiales de la AOAC, 2000 [13]. Para la cuantificación de proteínas se usó el método Kjeldahl (AOAC 46-11) usando como factor de conversión 6.25. Las grasas se cuantificaron por el método Soxhlet usando éter de petróleo como solvente (AOAC 30-10.01), cenizas y humedad por el método gravimétrico (AOAC 08-01 y 44-15, respectivamente). El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia

como se muestra en la Ecuación (1). Finalmente, el contenido nutrimental se

determinó con la Ecuación (2) expresando en kcal.

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - (\% \text{ proteína} + \% \text{ grasas} + \% \text{ cenizas} + \% \text{ humedad}) \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\text{Contenido nutrimental (kcal)} = (\% \text{ Proteína} \times 4) + (\% \text{ Grasa} \times 9) + (\% \text{ Carbohidratos} \times 4) \quad (\text{Ec. 2})$$

### **Análisis fisicoquímicos**

#### **Capacidad de retención de agua (CRA)**

Se determinó usando el método de compresión propuesto por Tsai y Ockerman (1981) [14] con algunas modificaciones. Se colocó la muestra entre dos placas plexiglás de 12 x 12 cm cubiertas con papel filtro. Se aplicó una fuerza de 4.0 kg/g de muestra durante 20 minutos. Se determinó la cantidad de agua impregnada en el papel filtro que corresponde a agua libre. La determinación de CRA fue realizada empleando las siguientes Ecuaciones (3 y 4):

$$\% \text{ de agua libre} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

(Ec. 3)

$$\text{CRA} = 100 - \% \text{ de agua libre}$$

(Ec. 4)

Donde  $P_i$  indica el peso inicial de la muestra y  $P_f$  el peso final en gramos. Este análisis se realizó para jamón y salchicha de tilapia y se hizo la comparación con productos comerciales.

#### **Evaluación de pH**

Para cuantificar el pH del jamón y salchicha de tilapia se seleccionó un trozo de muestra y se midió con un potenciómetro de electrodo de tipo punzón (Hanna Instruments®, HI 99163, México) previamente calibrado con solución buffer. Este análisis se realizó para jamón y salchicha de tilapia, realizándose también una comparación con productos comerciales.

#### **Evaluación colorimétrica**

Para la evaluación del color superficial de los embutidos, se seleccionó el área de medición en una muestra de grosor de 2 cm y 5 cm de ancho, la cual se colocó en una base blanca para realizar las lecturas. Se utilizó un colorímetro (Konica Minolta, CR-400, Japón) evitando cualquier presión que llegará a distorsionar la dirección de las fibras musculares. Se registraron los valores  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  ( $a^+$  tonalidad roja,  $a^-$  tonalidad verde),  $b^*$  ( $b^+$  tonalidad amarilla,  $b^-$  tonalidad azul), Cromo (C) que se refiere a la tonalidad y el ángulo Hue (H) que se refiere a la saturación.

#### **Análisis de perfil de textura**

Este análisis se realizó con el fin de evaluar y determinar las características de textura de los embutidos de tilapia. Se utilizó la metodología propuesta por Rivero *et al.* (2019) [15], realizando algunas modificaciones. Para el estudio se utilizó un analizador de textura (Stable Micro Systems, TA.XT.plus, Reino Unido), se tomaron cubos de 20 mm por cada lado y se aplicó una fuerza de compresión de 50 Newtons para jamón y de 70 Newtons para salchicha con un plato de compresión de acero inoxidable. Se evaluaron los parámetros dureza, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resistencia. Los valores obtenidos se compararon con muestras de embutidos comerciales.

#### **Análisis Microbiológico**

La determinación de los parámetros microbiológicos se realizó con base a la

Norma Oficial Mexicana NOM-158-SCFI-2003 [11] que especifica la presencia o ausencia de mesofílicos aerobios, coliformes totales y fecales, hongos y levaduras, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella* spp.

La muestra se preparó como sigue: en una bolsa estéril con cierre hermético se agregaron 10 g de muestra con 90 mL de buffer de fosfatos estéril pH 7.2. La preparación de la muestra se llevó a un homogeneizador (Seward®, Stomacher 400 Circulator, Reino Unido) por dos lapsos de 30 s a 230 rpm. Posteriormente se tomó 1 mL de muestra, se diluyó con 9 mL del mismo buffer y se homogeneizó repitiendo el proceso anterior.

#### ***Determinación de la presencia de Mesofílicos aerobios***

La cuenta de bacterias aerobias en placa se basó en la Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994 [16]. Para este cultivo se utilizaron 6 cajas de Petri estériles a las cuales se les adicionaron de 12 a 15 mL medio de cultivo preparado con agar triptona, posteriormente se inocularon con la solución obtenida anteriormente. Se incluyó una caja sin inóculo como testigo de esterilidad. Se incubaron las cajas en posición invertida a  $35 \pm 2$  °C por  $48 \pm 2$  horas. Se contabilizó la presencia de unidades formadoras de colonias (UFC).

#### ***Determinación de la presencia de Coliformes totales y fecales***

Para la determinación de coliformes totales en placa se utilizó la Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994 [17]. Para este cultivo se utilizaron 6 cajas de Petri estériles a las cuales se les adicionaron de 12 a 15 mL medio de cultivo preparado con agar bilis y rojo violeta (RVBA), posteriormente se inoculó de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma. Se incluyó una caja sin inóculo como testigo de esterilidad. Se

incubaron las cajas en posición invertida a  $35 \pm 2$  °C por más de 24 horas. Por último, se evaluó la presencia de UFC.

#### ***Determinación de la presencia de hongos y levaduras***

Para la cuenta de hongos y levaduras en placa se utilizó la Norma Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994 [18]. Para este cultivo se utilizaron 6 cajas de Petri estériles a las cuales se les adicionaron de 12 a 15 mL medio de cultivo preparado con agar PDA, posteriormente se inocularon de acuerdo con la norma. Se incluyó una caja sin inóculo como testigo de esterilidad. Se incubaron las cajas en posición invertida a  $25 \pm 1$  °C, monitoreando las placas a los 3, 4 y 5 días. Al quinto día se evaluó la presencia de UFC.

#### ***Determinación de la presencia de Staphylococcus aureus***

Para la cuenta de *Staphylococcus aureus* en placa se utilizó la Norma Oficial Mexicana NOM-115-SSA1-1994 [19]. Para este cultivo se utilizaron 6 cajas de Petri estériles a las cuales se les adicionaron de 12 a 15 mL medio de cultivo preparado con agar Baird Parker, posteriormente se inocularon de acuerdo con la norma. Se incluyó una caja sin inóculo como testigo de esterilidad. Se incubaron las cajas en posición invertida a  $35 \pm 1$  °C por 45 a 48 horas. Se verificó que no hubiera colonias negras circulares brillantes y convexas con diámetro de 1 a 2 mm.

#### ***Determinación de la presencia de Salmonella spp***

Para la cuenta de *Salmonella* spp en placa se utilizó la Norma Oficial Mexicana NOM-114-SSA1-1994 [20]. Para este cultivo se utilizaron 6 cajas de Petri estériles a las cuales se les adicionaron de 12 a 15 mL medio de cultivo preparado con agar Salmonella-Shigella, posteriormente se inocularon de acuerdo con la norma. Se incluyó una caja sin inóculo como testigo de esterilidad. Se

incubaron las cajas en posición invertida a  $35 \pm 1$  °C por  $24 \pm 2$  horas. Se verificó que no hubiera colonias en el medio.

### Evaluación sensorial

Se realizó una prueba de satisfacción respecto a cuatro atributos: color, textura, olor y sabor tanto del jamón como de la salchicha de tilapia. La evaluación se realizó con 40 panelistas semi-entrenados, los cuales se integraban por 24 mujeres y 16 hombres de edades entre 20 a 50 años con conocimientos sobre la evaluación y los atributos sensoriales. Para cada atributo se solicitó que señalaran el grado de agrado utilizando una escala del 1 al 5, siendo 1 me desagrada mucho y 5 me gusta mucho. Además, se consultó la intención de compra cuestionando si los panelistas estarían dispuestos a adquirir los productos de acuerdo con las características sensoriales percibidas.

### Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el software Statistica 7. Las mediciones se realizaron por triplicado y únicamente para los parámetros de textura se realizaron seis veces. Los resultados se informaron como el promedio  $\pm$  desviación estándar. Además de

realizar una prueba estadística mediante T-student ( $p \leq 0,05$ ) para la comparación entre grupos de embutidos de tilapia y embutidos comerciales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Composición química proximal

La composición proximal de los embutidos de tilapia se muestra en la Tabla 2. El análisis destacó el alto contenido proteico de estos productos, lo que los convierte en alimentos nutritivos, además de ser bajos en grasas y carbohidratos. El contenido de proteínas y grasas en los embutidos es crucial, ya que, al tratarse de una emulsión, el alto contenido proteico no solo es beneficioso desde el punto de vista nutrimental, sino que también juega un papel importante en el desarrollo del producto [21]. Además, el uso de tilapia en embutidos, gracias a su aporte de grasas, permite reducir la adición de grasa en comparación con otras formulaciones, y proporciona un aporte calórico de 113.49 y 124.33 kcal por cada 100 g de producto, lo cual son menores en comparación con los productos tradicionales que contienen más del 30% de grasas, lo que resulta en un mayor aporte calórico [22].

**Tabla 2.** Composición proximal y contenido energético del jamón y salchicha de tilapia negra.

Componente	Jamón de tilapia (%)	Salchicha de tilapia (%)
<b>Proteína</b>	21.40 $\pm$ 0.03	19.10 $\pm$ 0.59
<b>Grasa</b>	3.37 $\pm$ 0.06	3.25 $\pm$ 0.31
<b>Carbohidratos</b>	2.10 $\pm$ 0.95	1.96 $\pm$ 0.68
<b>Ceniza</b>	4.00 $\pm$ 0.26	5.53 $\pm$ 0.25
<b>Humedad</b>	69.13 $\pm$ 0.96	70.16 $\pm$ 00.80

<b>Contenido Energético (Kcal/100 g)</b>	124.32±4.03	113.52±1.30
--	-------------	-------------

Los resultados se expresan como media  $\pm$  desviación estándar de tres replicas.

Diversos estudios han reportado el contenido nutricional de embutidos de pescado, principalmente salchichas. Dehghan Tanha et al. (2021) informaron que las salchichas de pescado, con una formulación de 70% pescado y 30% aditivos, contenían de 10 a 12.5 % de proteínas, y 6 a 7 % de grasas [23]. Por su parte, Elavarasan et al. (2024) reportaron valores de 11.80 a 13.40 % de proteínas, 5.35 a 6.61 % de grasas, y 11.19 a 13.46 % de carbohidratos en salchichas de pescado adicionadas con harina de mijo [21]. Estos valores mostraron un menor contenido proteico y un mayor contenido de grasas y carbohidratos, lo cual se atribuye a la formulación utilizada. Ambos estudios reportan un contenido de humedad de entre 60 y 67.66 %, valores cercanos a los obtenidos en el presente trabajo.

Cavenaghi et al. (2020) evaluaron salchichas elaboradas a partir de tilapia negra, enriquecidas con proteína de soya y almidón de yuca, reportando un contenido de proteína de 15.08 a 15.91 %, grasas de 9.61 a 12.29 %, y carbohidratos de 1.77 a 11.94 % [24]. Aunque la receta de Cavenaghi et al. (2020) incluía un 89.14% de carne de tilapia, el contenido proteico fue inferior, incluso con la adición de proteína de soya, mientras que los niveles de grasas y carbohidratos fueron superiores. Esto podría atribuirse a las condiciones de cultivo de las especies. Por otro lado, la información sobre la composición químico proximal del jamón de pescado es aún limitada.

## Caracterización fisicoquímica

### *Capacidad de Retención de Agua y pH*

La Capacidad de Retención de Agua (CRA) se define como la capacidad que tiene la carne o un producto cárnico para retener agua, lo cual se determina aplicando una fuerza externa para extraer los fluidos que se relacionan con la jugosidad [25]. En los productos procesados de pescado, debido a la proteína miofibrilar, se adquieren propiedades de textura que determinan la calidad mediante la interacción entre las moléculas del agua y las proteínas en el gel del embutido, así como su compacidad de la estructura formada, lo que mejora la textura y la jugosidad del producto cárnico [26], [27].

En la Tabla 3 se muestran los resultados de la CRA en comparación con productos comerciales. El jamón de tilapia obtuvo valores superiores de CRA con respecto a los productos comerciales, lo que sugiere un producto más jugoso y con mejor textura al paladar. Estos resultados indican una mejor calidad del jamón de tilapia, lo que se atribuye a una adecuada interacción entre las moléculas del agua y las proteínas de la tilapia [26]. Por otro lado, la salchicha de tilapia mostró una CRA más baja, lo que podría influir negativamente en su aceptación sensorial. Este resultado se debe al proceso de emulsión, donde el uso de hielo frappé dificultó la integración completa del agua con las proteínas del pescado, favoreciendo una mayor liberación de agua en el producto final [26]. Además, el uso de aditivos como los polifosfatos pueden influir positivamente, ya que mejoran la estabilidad del producto, debido a que reducen la pérdida de agua y mejoran la CRA, lo que podría ayudar a mejorar la calidad de los productos [27].

**Tabla 3.** Valores de CRA y pH de los embutidos de Tilapia negra y embutidos comerciales.

Muestra	CRA (%)	pH
Jamón de tilapia	77.20±2.79 <sup>a</sup>	6.84±0.12 <sup>a</sup>
Jamón comercial	57.48±1.26 <sup>b</sup>	6.10±0.27 <sup>b</sup>
Salchicha tilapia	63.75± 4.02 <sup>B</sup>	7.08±0.15 <sup>A</sup>
Salchicha comercial	80.44±2.67 <sup>A</sup>	6.08±0.22 <sup>B</sup>

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar. \*Diferentes letras en las filas indican diferencias significativas mediante la prueba *T-student* ( $p \leq 0,05$ ). CRA = Capacidad de retención de agua.

En cuanto a la medición del pH, se observó que tanto el jamón como la salchicha de tilapia presentaron valores más altos que los productos comerciales (Tabla 2). Esta diferencia se atribuye al tipo de carne con la que están elaborados los embutidos comerciales. Algunas investigaciones sobre embutidos de pescado reportan valores de pH entre 6 y 7 [23], [28]. En general, un pH óptimo para el crecimiento de microorganismos en carne de pescado se encuentra en un rango de 6.1 a 6.7 [29]. Sin embargo, un pH más alto puede ser beneficioso para prolongar la vida útil, esto podría representar una ventaja frente a los productos cárnicos tradicionales [23].

### Evaluación colorimétrica

El color es un parámetro crucial para el atractivo de los consumidores, ya que influye en la percepción de las demás características sensoriales. Este parámetro se mide utilizando las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  del espacio de color de CIE  $Lab^*$  [29]. En la Tabla 4 se presentan los resultados del análisis de color para los embutidos de tilapia. Las diferencias en la coloración se deben a la adición de colorante rojo comestible. Según Elavarasan et al. (2024), los valores de  $L^*$  entre 62.3 a 68.5 en embutidos son más agradables para el consumidor [21]. Los valores obtenidos en este estudio son superiores a los valores antes indicados y

similares entre ambos embutidos, con una luminosidad mayor debido al color blanquecino de la tilapia y al bajo porcentaje de colorante añadido. Las tonalidades rojizas ( $a^*$ ) y amarillas ( $b^*$ ) mostraron diferentes comportamientos, pero siguieron la misma tendencia. Mientras que la tonalidad fue más intensa para el jamón, pero la saturación del color fue mayor para la salchicha. En la Figura 1 se observa visualmente la coloración de ambos embutidos, con tonalidades rosáceas claras y algunas manchas grisáceas propias de la carne de tilapia.

Investigaciones en salchichas de pescado (*Oreochromis niloticus*) reportan valores de luminosidades de 56.64, tonos rojizos de 4.79 y amarillos de 20.53, lo cual se atribuye al pigmento hemo en la mioglobina, que le da el color al músculo del pescado y que se ve afectado durante el procesamiento térmico [21]. Por esta razón, es necesario añadir colorantes o ingredientes que mejoren la coloración de los embutidos de pescado. Otros estudios sobre salchicha de pescado (*Cyprinus carpio* L.) reportan valores de luminosidad de 55.34, tonos rojizos de 16.91 y tonos amarillos de 31.96, influenciados por las características físicas de la carne y los pigmentos de los ingredientes añadidos durante la preparación [29]. De este modo, el color se ve mayormente influenciado por el porcentaje de ingrediente que aporten coloración al embutido.

**Tabla 4.** Valores obtenidos del análisis de color para jamón y salchicha de Tilapia negra.

	Jamón de tilapia	Salchicha de tilapia
<i>L</i> *	70.53 ± 2.56	73.00 ± 1.91
<i>a</i> *	3.43 ± 1.07	8.60 ± 0.26
<i>b</i> *	6.13 ± 1.05	7.48 ± 0.49
<i>C</i> *	60.45 ± 7.91	40.93 ± 2.18
<i>h</i>	7.13 ± 1.11	11.40 ± 0.36

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar. (*L*\*=Luminosidad, *a*\*= tonalidad rojiza (+), *b*\*= tonalidad amarilla (+), *C*= tonalidad y *h*=saturación).



**Figura 1.** a) Jamón de tilapia negra, b) Salchichas de tilapia negra.

#### **Análisis de Perfil de Textura (TPA)**

El perfil de textura es una de las propiedades físicas más importantes en embutidos, influye en la aceptabilidad y disposición de compra por parte de los consumidores [30]. Los resultados del perfil de textura de los embutidos de tilapia, comparados con productos comerciales, se observan en la Tabla 5. Las características texturales son similares a las reportadas por Feng et al. (2020) para embutidos de pescado (*Trachinotus blochii*), principalmente en elasticidad, cohesividad y masticación [28]. De manera similar, Surasani et al. (2020) encontraron que embutidos de pescado (*Pangasius pangasius*) con aislado de proteína presentan una mayor dureza y masticación debido a la adición de aislados proteicos [31], aunque la elasticidad, cohesividad y rigidez son comparables con los resultados del presente estudio.

Los embutidos de tilapia mostraron una mejor firmeza o dureza, lo cual está relacionado con

el contenido de grasas o aceites, ya que los embutidos con mayor cantidad de grasa suelen tener menor dureza [32]. En el caso de los embutidos de tilapia, el contenido proteico y el tipo de proteína ayudan a mantener la uniformidad de las grasas, proporcionando una buena firmeza [31], [33]. La elasticidad está relacionada con la firmeza, ya que se refiere a la capacidad de la muestra para volver a su estado original después de que se elimina la fuerza de deformación [32]. Únicamente el jamón de tilapia presentó similitudes con el jamón comercial, mientras que la salchicha de tilapia presentó diferencias significativas con el producto comercial.

La cohesión y la gomosidad indican el grado de deformación y la resistencia de la muestra por los dientes antes de romperse y está relacionado con la masticación, que es la energía necesaria para masticar un alimento sólido hasta que sea apto para tragar [21]. En este sentido, las salchichas de tilapia y las

comerciales presentaron similitudes, mientras que el jamón de tilapia mostró una mayor cohesión, gomosidad y masticación, lo que implica que requiere más fuerza y energía durante el proceso de masticación. La resistencia o rigidez se mide a partir del gradiente máximo de la curva fuerza-deformación generada en la primera compresión del análisis; esta representa la fuerza ejercida para deformar el producto

[21]. No se observaron diferencias significativas en varios de los parámetros de textura entre los embutidos de tilapia y los productos comerciales. Los resultados del TPA indican que los embutidos de tilapia indican que la salchicha presenta mayor similitud, mientras que el jamón tiene ligeras diferencias, sin embargo, esto no afecta su calidad lo que representa una oportunidad para su aceptación en el mercado.

**Tabla 5.** Perfil de textura de jamón y salchicha de Tilapia negra comparados con productos comerciales.

Parámetros	Jamón de tilapia	Jamón comercial	Salchicha de tilapia	Salchicha comercial
Dureza (N)	38.49±3.45 <sup>a</sup>	28.50±5.02 <sup>b</sup>	45.99±7.72 <sup>A</sup>	30.90 ± 1.86 <sup>B</sup>
Elasticidad	0.89±0.01 <sup>a</sup>	0.89±0.02 <sup>a</sup>	0.86 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.82 ± 0.03 <sup>B</sup>
Cohesividad	0.68 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.54±0.11 <sup>b</sup>	0.29 ± 0.03 <sup>A</sup>	0.31 ± 0.05 <sup>A</sup>
Gomosidad	29.32±2.75 <sup>a</sup>	22.48±5.36 <sup>b</sup>	16.54±2.21 <sup>A</sup>	16.33±3.86 <sup>A</sup>
Masticación (N.mm)	26.16±2.28 <sup>a</sup>	20.05±5.10 <sup>b</sup>	14.28 ± 1.73 <sup>A</sup>	13.52 ± 3.49 <sup>A</sup>
Resistencia	0.34±0.02 <sup>a</sup>	0.28 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.09 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.10 ± 0.02 <sup>A</sup>

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar. \*Diferentes letras en las filas indican diferencias significativas mediante la prueba *T-student* ( $p \leq 0,05$ ).

### Análisis Microbiológico

De acuerdo con los límites máximos establecidos en la NOM-158-SCFI-2003 [11], los embutidos de tilapia cumplen con las especificaciones sanitarias, encontrándose dentro de los límites permisibles, como se detalla en la Tabla 6. Gracias al proceso de cocción, las altas temperaturas permiten la eliminación de patógenos como *Salmonella* y *Coliformes*, sin embargo, durante el enfriamiento puede ocurrir contaminación por otros microorganismos [34]. Por ello, es

fundamental realizar un choque térmico para evitar que la carga microbiana sea mayor a los límites permisibles.

A pesar de ello, las bacterias aerobias son las principales responsables del deterioro del pescado y productos refrigerados [23], lo que explica que los niveles de carga bacteriana permitidos sean relativamente altos. Los resultados demuestran que los embutidos de tilapia, debido a su baja carga microbiana, se procesan de manera eficiente y son seguros para el consumo.

**Tabla 6.** Resultados del análisis microbiológico en jamón y salchicha de Tilapia negra.

Microorganismos	Jamón de tilapia (UFC/g)	Salchicha de tilapia (UFC/g)	Límite máximo* (UFC/g)
Mesofílicos aerobios	600	400	100 000
Coliformes totales y fecales	Negativo	Negativo	Negativo

<b>Hongos y Levaduras</b>	4	8	<10
<i>Staphylococcus aureus</i>	50	80	100
<i>Salmonella spp.</i>	Negativo	Negativo	Negativo en 25 g

\* Norma Oficial Mexicana 158-SCFI-2003. UFC/g = unidades formadoras de colonia por gramo de muestra.

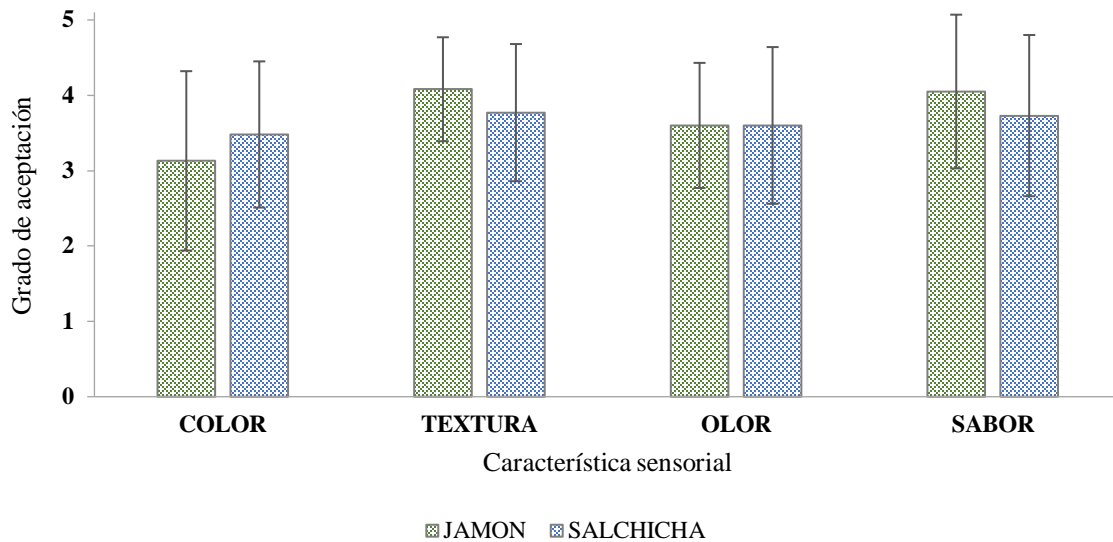
### Evaluación sensorial

Los resultados del análisis sensorial de los embutidos de tilapia se muestran en la Figura 2, los cuales no muestran diferencias significativas. Ambos productos presentaron una aceptación general favorable, especialmente en su textura, la cual fue comparable con la de productos comerciales, aunque con una mayor firmeza. Este atributo podría contribuir a la percepción de la calidad del producto por parte de los consumidores. En cuanto al color, como se mencionó anteriormente, este se debe a la adición de colorante natural. No obstante, algunos jueces recomendaron un tono más rosado, ya que este se asocia típicamente con los jamones comerciales y podría mejorar la aceptación visual del producto.

Respecto al olor, los jueces señalaron la presencia de un olor característico a pescado, lo cual es un punto de desagrado en productos

elaborados con pescado [29]. En cuanto al sabor, ambas muestras recibieron una aceptación favorable, a pesar de que autores como Asyrul-Izhar et al. (2021) señalan que el sabor de las salchichas de tilapia es uno de los parámetros con menor aceptación (4.17-5.10 puntos de 9) [35]. Algunas investigaciones han indicado que las salchichas de pescado suele tener aceptación en parámetros sensoriales como color, olor, sabor y textura, debido principalmente a la formulación y la proporción de aditivos utilizados [23].

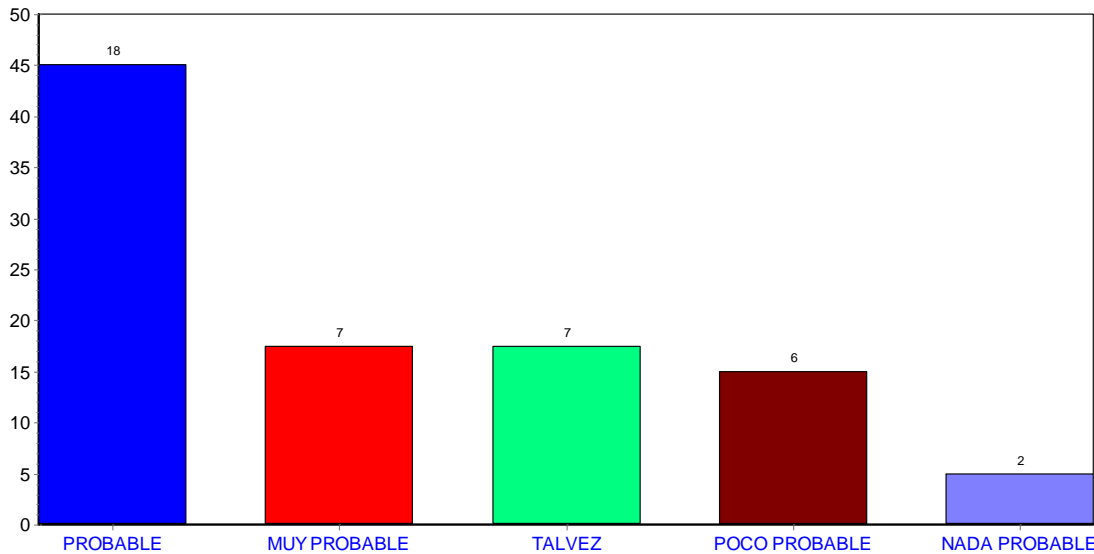
Teniendo en cuenta estos resultados, todos los atributos evaluados fueron del agrado por los jueces, lo que indica que estos embutidos tienen un gran potencial como alimentos de alto valor nutricional. No obstante, podrían realizarse algunas mejoras en la formulación, especialmente en lo que respecta al color y al olor.



**Figura 2.** Resultados de la evaluación sensorial de los embutidos de Tilapia negra.

Finalmente, además del estudio sensorial, se consultó a los evaluadores si estarían dispuestos a comprar estos productos (Figura 3). Los resultados mostraron que de los 40 jueces el 80% podrían comprar los embutidos

de tilapia (18 probables, 7 muy probables, 7 tal vez), y de este porcentaje, se confirma que el 62.5% probablemente comprarían los productos basados en los parámetros sensoriales evaluados.



**Figura 3.** Intención de compra para los embutidos de Tilapia negra en función de sus características sensoriales.

**CONCLUSIONES**

La transformación de la tilapia negra dio como resultado productos con valor agregado, para los cuales se estableció un proceso estandarizado para su producción. Tanto el jamón como la salchicha presentaron

una composición química proximal destacada, sobresaliendo por su alto contenido proteico. Además, ambos productos cumplieron con los parámetros de inocuidad referentes a la Norma Oficial Mexica 158-SCFI-2003 lo que resulta en

productos de calidad. La comparación entre los embutidos de tilapia y los productos comerciales proporcionó información valiosa sobre las características de productos similares en el mercado. Aunque se observaron algunas diferencias, estas fueron aceptadas por el panel sensorial. Las características evaluadas demuestran que estos embutidos representan una opción interesante y saludable para incorporar los nutrientes de la tilapia en la dieta humana. Además, los estudios sensoriales indicaron que ambos productos cuentan con probable potencial para su aceptación en el mercado.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, y a la Facultad de Agronomía de Universidad Autónoma de Nuevo León por proporcionar las instalaciones, equipos e insumos necesarios para la realización de este proyecto.

### REFERENCIAS

1. FAO. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. In *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
2. CONAPESCA. (2022). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. In *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca*. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>
3. Peñarubia, O., Toppe, J., Ahern, M., Ward, A., & Griffin, M. (2023). How value addition by utilization of tilapia processing by-products can improve human nutrition and livelihood. *Reviews in Aquaculture*, 15, 32–40. <https://doi.org/10.1111/raq.12737>
4. Basak, P., Ali, M. S., Isra, L., Rahman, M. H., & Haq, M. (2023). Effects of thermal and salt water soaking pre-treatment on the physicochemical and nutritional properties of sundried tilapia fish (*Oreocromis niloticus*) products. *Heliyon*, 9(11), e21749. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21749>
5. Liu, Q., Tan, L., Hong, P., Liu, H., & Zhou, C. (2024). Tilapia-soybean protein coprecipitates: Focus on physicochemical properties, nutritional quality, and proteomics profile. *Food Chemistry: X*, 21, 101179. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101179>
6. Liu, S., Zhang, L., Guo, Y., Wang, M., Cai, H., Hong, P., Zhong, S., & Lin, J. (2024). Study on quality characteristics, shelf-life prediction and frying mass transfer of breaded tilapia nuggets. *Heliyon*, 10(17), e36528. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36528>
7. Wu, J., Li, C., Li, L., Yang, X., Wang, Y., & Zhou, W. (2022). Improved physicochemical properties and product characteristics of tilapia surimi by tea polyphenols during chilled storage. *Lwt*, 167, 113822. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113822>
8. Pourashouri, P., Shabanpour, B., Kordjazi, M., & Jamshidi, A. (2020). Characteristic and shelf life of fish sausage: fortification with fish oil through emulsion and gelled emulsion incorporated with green tea extract. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(12), 4474–4482.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.10488>
9. Alves, M. C., Paula, M. M. de O., Costa, C. G. C. da, Sales, L. A., Lago, A. M. T., Pimenta, C. J., & Gomes, M. E. de S. (2021). Restructured fish cooked Ham: Effects of the use of carrageenan and transglutaminase on textural properties. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 30(4), 451–461.  
<https://doi.org/10.1080/10498850.2021.1895942>
  10. COMECARNE (Consejo Mexicano de la Carne). Compendio Estadístico 2024 [Internet]. 2024. p. 1–169.  
<https://comecarne.org/wp-content/uploads/2024/05/compendio-estadistico-2024-V2.pdf>
  11. Norma Oficial Mexicana, (2003). “NOM-158-SCFI-2003 Jamón-denominación y clasificación comercial, especificaciones fisicoquímicas, microbiológicas, organolépticas, información comercial y métodos de prueba”. In: Diario Oficial de la Federación. México DF, México.
  12. Norma Mexicana, (1984). “NMX-F-065-1984 Alimentos. Salchichas. Especificaciones. Foods. Sausage. Specifications”. In: Diario Oficial de la Federación. México DF, México.
  13. Association of Official Analytical Chemists. (2000). Official methods of analysis of AOAC international. USA: Association of Official and Analytical Chemists, Intenational Virginia.
  14. Tsai T.C., Ockerman H.W. (1981). Water binding measurement of meat. *Journal of Food Science*. 46:697–701  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1981.tb15328.x>.
  15. Rivero, R., Archaina D., Sosa N., Leiva G., Baldi-Coronel B., Schebor C., (2019). Development of healthy gummy jellies containing honey and propolis. *Journal of the science of Food and Agriculture*. 100: 1030-1037.  
<https://doi.org/10.1002/jsfa.10107>.
  16. Norma Oficial Mexicana, (1994). “NOM-092-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa”. In: Diario Oficial de la Federación. México DF, México.
  17. Norma Oficial Mexicana, (1994). “NOM-113-SSA1-1994, Bienes y Servicios, Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa”. In: Diario Oficial de la Federación. México DF, México.
  18. Norma Oficial Mexicana, (1994). “NOM 111-SSA1-1994, Bienes y servicios, Métodos para la cuenta mohos y levaduras en Alimentos Secretaría de Salubridad y Asistencia México”. In: Diario Oficial de la Federación. México DF, México.
  19. Norma Oficial Mexicana, (1994). “NOM-115-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la Determinación de *Staphylococcus aureus* en Alimentos”. In: Diario Oficial de la Federación. México DF, México.
  20. Norma Oficial Mexicana, (1994). “NOM-114-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la Determinación de *Salmonella* en Alimentos”. In: Diario Oficial de la Federación. México DF, México.
  21. Elavarasan, K., Malini, M., Ninan, G., Ravishankar, C. N., & Dayakar, B. R. (2024). Millet flour as a potential ingredient in fish sausage for health

- and sustainability. *Sustainable Food Technology*, 2(4), 1088–1100. <https://doi.org/10.1039/d4fb00067f>
22. Brankovic Lazic, I., Jovanovic, J., Simunovic, S., Raseta, M., Trbovic, D., Baltic, T., & Ciric, J. (2019). Evaluation of sensory and chemical parameters of fermented sausages. *Meat Technology*, 60(2), 84–90. <https://doi.org/10.18485/meattech.2019.60.2.2>
  23. Dehghan Tanha, L., Khoshkhoo, Z., & Azizi, M. H. (2021). Application of edible coating made of sturgeon gelatin and *Portulaca oleracea* extract for improving the shelf life of fish sausages. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(5), 4306–4313. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01013-6>
  24. Cavenaghi Altemio, A. D., Cacho Ferreira, R., & Graciano Fonseca, G. (2020). Evaluation of sausages obtained from mechanically separated Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) meat and prepared using different homogenizing and refining processes. *Meat Technology*, 61(2), 145–152. <https://doi.org/10.18485/meattech.2020.61.2.4>
  25. Oswell, N. J., Gilstrap, O. P., & Pegg, R. B. (2021). Variation in the terminology and methodologies applied to the analysis of water holding capacity in meat research. *Meat Science*, 178, 108510. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108510>
  26. Huang, Q., Huang, X., Liu, L., Song, H., Geng, F., Wu, W., & Luo, P. (2021). Nano eggshell calcium enhanced gel properties of *Nemipterus virgatus* surimi sausage: gel strength, water retention and microstructure. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(11), 5738–5752. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15142>
  27. Nuñez, S. M., Cárdenas, C., Valencia, P., Masip, Y., Pinto, M., & Almonacid, S. (2021). Water-holding capacity of enzymatic protein hydrolysates: A study on the synergistic effects of peptide fractions. *Lwt*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112357>
  28. Feng, X., Tjia, J. Y. Y., Zhou, Y., Liu, Q., Fu, C., & Yang, H. (2020). Effects of tocopherol nanoemulsion addition on fish sausage properties and fatty acid oxidation. *Lwt*, 118(May 2019), 108737. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108737>
  29. Bedrníček, J., Kadlec, J., Laknerová, I., Mráz, J., Samková, E., Petrášková, E., Hasoňová, L., Vácha, F., Kron, V., & Smetana, P. (2020). Onion peel powder as an antioxidant-rich material for sausages prepared from mechanically separated fish meat. *Antioxidants*, 9(10), 1–18. <https://doi.org/10.3390/antiox9100974>
  30. Gomezulu, A. D., & Mongi, R. J. (2022). Protein Content and anti-nutritional factors in pigeon pea and effect of its protein isolate on physical properties and consumer preference of beef sausages. *Applied Food Research*, 2(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100047>
  31. Surasani, V. K. R., Raju, C. V., Shafiq, U., Chandra, M. V., & Lakshmisha, I. P. (2020). Influence of protein isolates from Pangas processing waste on physico-chemical, textural,

- rheological and sensory quality characteristics of fish sausages. *Lwt*, 117, 108662. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108662>
32. Mahdavi, E., & Ariaii, P. (2021). Effect of natural antioxidants and vegetable fiber on quality properties of fish sausage produced from Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Italian Journal of Food Science*, 33(1), 117–126. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v33iSP1.2059>
33. Chaijan, M., & Panpipat, W. (2020). Pre-neutralized crude palm oil as natural colorant and bioactive ingredient in fish sausage prepared from tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Lwt*, 135, 110289. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110289>
34. Mohammad, S. M., Badrul Hisham, A. A., Mustapa, N. A., Chan, K. W., & Zawawi, N. (2021). Proximate Analysis, antioxidant activity, and antibacterial activity of fish sausages fortified with bee bread extract. *Journal of Food Quality*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6657553>
35. Asyrul-Izhar, A. B., Sarbon, N. M., & Ismail-Fitry, M. R. (2021). effects of mixing duration and raw materials on the physicochemical, microstructural and sensorial properties of sausages prepared from red tilapia (*Oreochromis* sp.). *Asian Fisheries Science*, 34(4), 355–364. <https://doi.org/10.33997/j.afs.2021.34.4.008>